

Рис.4.

Для ионизационного преобразователя также была получена экспериментальная кривая зависимости потенциала катода от концентрации газа (давления) рис.5. Видно, что данный преобразователь обладает хорошей чувствительностью, линейностью характеристики, удовлетворяющим диапазоном работы.

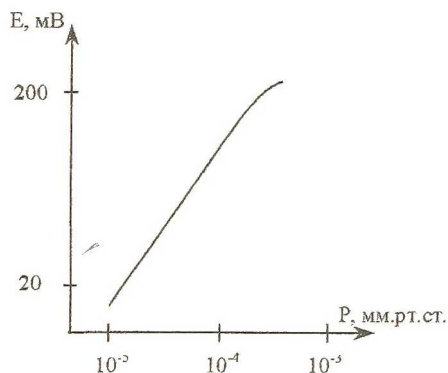


Рис.5.

ПРОБЛЕМЫ ИСКУССТВЕННОЙ ЭПИТАКСИИ

Митекин С.А., Архипов А.В.

Развитие микроэлектроники неразрывно связано с развитием полупроводниковой технологии и не в последнюю очередь с процессом эпи-

таксиального выращивания слоев различных материалов. Эпитаксиальные процессы давно применяются в полупроводниковой технологии, и дали возможность значительно улучшить качественные параметры дискретных элементов и интегральных микросхем. Применение планарно-эпитаксиальной технологии позволило изготавливать высоковольтные сильноточечные транзисторы, в которых высокоомная кремниевая подложка служит в качестве коллекторной области транзистора, а низкоомный сильнолегированный эпитаксиальный слой - эффективного эмиттера. Это позволяет получать высокое пробивное напряжение коллектор - база и большие плотности токов. Применение эпитаксиальной технологии дает возможность получать резкие P-N переходы, что позволяет без особых трудностей создавать усилительные и другие приборы СВЧ диапазона. Применяя эпитаксиальную технологию можно получать PIN структуры - высококачественные СВЧ переключатели и малоинерционные фотоприёмники.

В последнее время большие надежды в развитии полупроводниковой технологии связывают с появлением новых полупроводниковых материалов и новых технологий. Так дальнейшее освоение СВЧ диапазона вызвало разработку новых полупроводниковых материалов с более подвижными носителями заряда. Например, подвижность электронов в арсениде галлия в 5,67 раза больше чем в кремнии. Это позволяет при одной и той же топологии повысить рабочую частоту прибора, чем объясняется широкое применение данного материала для изготовления СВЧ приборов. Однако применение новых материалов сдерживается отставанием в развитии технологических процессов и физическими свойствами самих материалов. Применение арсенида галлия для создания мощных приборов проблематично из-за низкой теплопроводности этого полупроводника.

Возникшие проблемы позволяет решить эпитаксиальная технология. Наращивание тонкого слоя арсенида галлия на подложку с высокой теплопроводностью, позволяет повысить плотности токов и мощности, отдаваемые в нагрузку без опасности теплового пробоя или ускоренной высокотемпературной деградации прибора. Так появилось новое направление в развитии эпитаксиальных технологий - гетероэпитаксия. Для успешной гетероэпитаксии требуется, чтобы межатомное расстояние материалов подложки и наращиваемого материала были равны с высокой точностью (на сегодняшний момент для промышленно отработанных технологий считается допустимым расхождение в 5 процентов), что сильно сужает количество пар подложка - наращиваемый материал. Практически реализованы приборы на структурах: кремний на сапфире (КНС), германий на кремнии, галлий алюминий арсенид на арсениде галлия, арсенид галлия на германии, индий галлий арсенид на фосфиде индия [1]. Развитие гете-

роэпитаксии позволило создавать не только пассивные переходы (использование диэлектрической подложки в качестве изолирующего основания в КНС технологии), но и качественно новые эффекты в активных переходах разнородных материалов (выпрямляющие контакты типа NN^+).

Практический интерес представляют гетеропереходы материалов с различными значениями ширины запрещённой зоны и энергии сродства к электрону, позволяющие улучшать параметры традиционных приборов (диодов, транзисторов, фотоэлементов, светодиодов), и создавать оригинальные гетеропереходные полупроводниковые приборы (преобразователь ИК излучения в видимое, инжекционный лазер и так далее). Во всех эпитаксиальных технологиях использовалось ориентирующее действие подложки, требование согласования межатомного расстояния подложки и наращиваемого материала становится тормозящим фактором развития данного направления.

Следующим шагом в развитии эпитаксиальных технологий будет развитие искусственной эпитаксии. Это технологический процесс, в котором для выращивания монокристаллических эпитаксиальных слоёв ориентирующее действие подложки не требуется [2]. Получение монокристаллических эпитаксиальных слоёв на поликристаллических или аморфных подложках возможно при внешних ориентирующих воздействиях на наращиваемый слой. Это не противоречит существующим на сегодняшний день теориям.

В настоящее время единой теории роста эпитаксиальных плёнок нет. Различают три механизма описывающие рост эпитаксиальных плёнок: Фольмера – Вебера, Франка Ван дер Мерве и Крастанова – Странского [3]. Первый механизм предполагает зарождение плёнки путём образования изолированных трёхмерных островков – зародышей. Рост островков сопровождается коалесценцией (то есть слиянием), в процессе которой происходят наиболее существенные морфологические и ориентационные превращения, а также образование дефектов [4]. В итоге формируется сплошная поликристаллическая или монокристаллическая плёнка. Вторым механизмом предполагает зарождение на поверхности монокристаллической подложки, вследствие соответствия параметров кристаллических решёток плёнки и подложки, осаждение моноатомными слоями или двухмерное зарождение плёнки. При дальнейшем росте происходит плавное выравнивание несоответствия параметров кристаллических решёток плёнки и подложки путём введения на межфазную границу подложка – плёнка дислокаций, называемых дислокациями несоответствия [5]. Третий механизм предполагает двухмерное зарождение плёнки с образованием трёхмерных островков при последующем росте. Механизм роста в значительной степени определяет типы дефектов, образующихся в эпитакси-

альных плёнках и многослойных плёночных системах, природу и механизм образования дефектов. Для первого механизма кристаллизации в общем случае – это границы зёрен, границы между областями, находящимися в различных ориентационных соотношениях с подложкой, дислокации, дефекты упаковки. Для второго – межфазные границы раздела плёнка – подложка, образованные дислокациями несоответствия.

Ни один из перечисленных механизмов роста плёнок не запрещает рост монокристаллической плёнки на не ориентирующей подложке. Однако, рост монокристаллической плёнки с точки зрения термодинамики менее выгоден, чем поликристаллической, так как влияние на рост плёнки уменьшения энтропии в системе плёнка – подложка сказывается сильнее, чем уменьшение внутренней энергии системы. Происходит самопроизвольное увеличение энтропии, плёнка растёт поликристаллической.

Чтобы процесс шёл в нужном направлении необходимо привлечение энергии извне – это может быть создание микрорельефа на поверхности подложки. Например, механическим способом, который называется натирание (рис. 1).

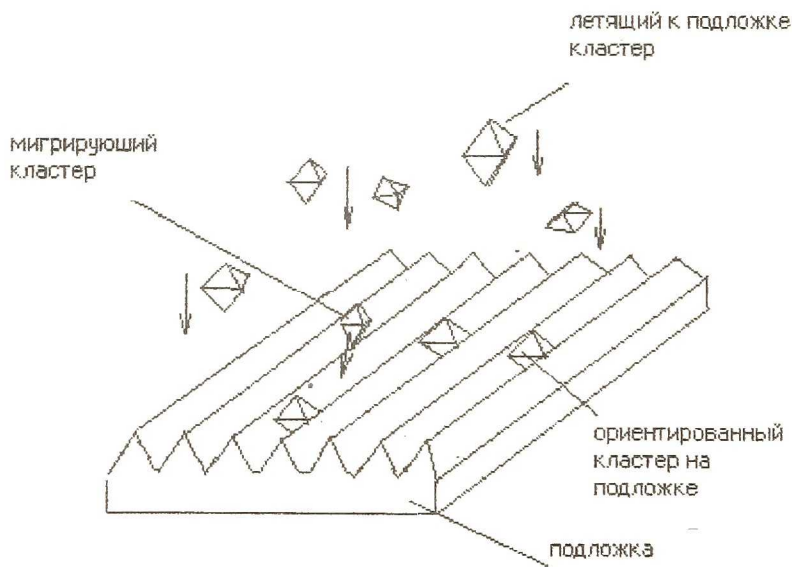


Рисунок 1 - Вариант создания ориентирующего слоя по методу натирания

Во-первых, микрорельеф увеличивает поверхностную энергию подложки. Во-вторых, он уменьшает энтропию поверхности, что позволяет уменьшить изменение энтропии во время роста плёнки. В этом направлении

велись экспериментальные исследования, которые дали обнадеживающие результаты. Особенность этого метода заключается в том, чтобы сначала напыление производилось с помощью источника не моноатомного потока атомов плёнки, а потока кластеров – частиц состоящих из нескольких атомов несущих зачатки кристаллической решётки будущей плёнки. При этом, попадая на подложку с микрорельефом, кластеры будут мигрировать по поверхности подложки, оставаясь в углублениях микрорельефа. Размер и геометрия микрорельефа должна быть такой, чтобы оказывать ориентирующее действие на кластер. При дальнейшем напылении нужен источник моноатомного потока атомов – среда для роста кластеров. Трудности описанного метода: создание нужного микрорельефа на поверхности подложки и создание источника потока кластеров.

Второй предлагаемый метод формирования условий для роста монокристаллической плёнки – создание потенциального рельефа на поверхности подложки с помощью поверхностных акустических волн (ПАВ). При этом методе на поверхности подложки формируется стоячая волна с амплитудой достаточной для ориентирующего действия на рост зародышей плёнки (см. рис.2).

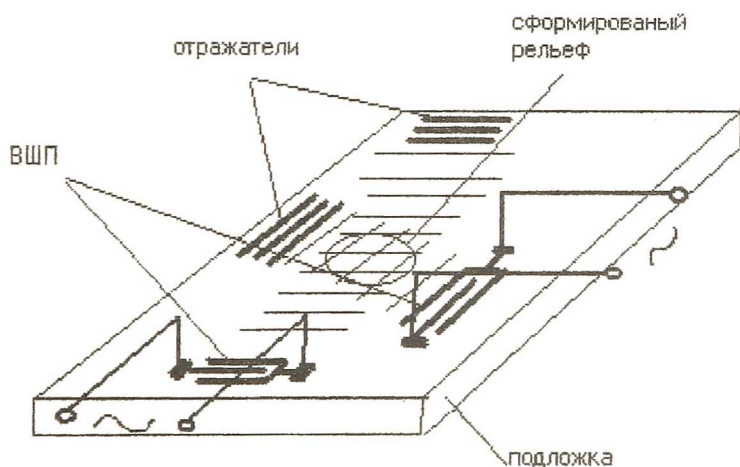


Рисунок 2 – Вариант создания микрорельефа по методу ПАВ

Длину акустической волны нужно выбирать кратной периоду кристаллической решётки материала выращиваемой плёнки. Для усиления ориенти-

рующего действия возможно применение нескольких стоячих волн, пересекающихся под выгодным нам углом. Оценочные расчеты показывают, что требуется создание ПАВ с частотой гигагерцового диапазона, примерно около трёх – десяти гигагерц. Создание ПАВ такой частоты на сегодняшний день проблемы не составляет. Требование к потоку осаждаемого материала также ниже, чем в предыдущем методе.

В заключении хочется отметить, что создание теории атомномолекулярных механизмов роста в таких системах требует значительного времени и материальных затрат и в настоящее время находится в зачаточной стадии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молекулярно – лучевая эпитаксия и гетероструктуры./Под ред. Л.Чента, К.Плога – М.: Мир, 1989.
2. Гиваргизов Е.И. Искусственная эпитаксия – новое направление кристаллизации пленок в технологии микроэлектроники и вычислительной техники – М.: 1987.
3. Иевлев В.М. и др. Структурные превращения в тонких пленках – М.: Металлургия, 1988.
4. Осипов А.В. Коалесценция кластеров в тонких пленках // Металлофизика 1990 – т.12 - № 4.
5. Жигалка А.М. Распределение дислокаций несоответствия при частичной релаксации напряжений в гетероэпитаксиальной системе // ЖТФ – 1991. – т.61 – вып.7 – с. 48-56.

ГЕОМАГНИТНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Шарафеев Н.В., Иванов В.В.

С 9 по 24 сентября 1999 года на околоземной орбите находился космический аппарат «Фотон-12». Эксперименты, проводимые на борту, использовали микрогравитацию, уровень которой на «Фотонах» в тысячи раз меньше, чем на пилотируемых объектах. Одной из составляющих, вызывающих микрогравитацию, является магнитное поле. Для контроля магнитного поля внутри космического аппарата на борту был установлен прибор «Мираж».

Общее магнитное поле внутри космического аппарата складывается, во-первых, из поля намагниченных во время изготовления ферромагнитных деталей КА и приборов, во-вторых, электрическими токами, протекающими внутри приборов, и, в-третьих, магнитным полем Земли, искаженным ферромагнитными деталями. В присутствии ферромагнитных деталей общее магнитное поле испытывает усиление в десятки и сотни